

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Karakteristik Air Limbah Industri Minuman Ringan

2.1.1 Derajat Keasaman (pH)

Derajat keasaman atau pH digunakan sebagai ukuran tingkat asam atau basa suatu larutan. Konsentrasi ion hidrogen (pH) dapat diartikan sebagai logaritma negatif dari konsentrasi ion hidrogen, yaitu sebagai berikut:

$$pH = -\text{Log}_{10} [H^+]$$

Mikroorganisme dalam pengolahan limbah dapat hidup optimal pada tingkat keasaman (pH) yang netral, yaitu berkisar antara pH 6 sampai dengan pH 9. Limbah dengan tingkat keasaman yang tinggi sukar untuk diolah secara biologis sehingga diperlukan pengolahan terlebih dahulu menggunakan unit pengolahan tertentu. (Metcalf and Eddy, 2004). pH netral yang diizinkan dalam baku mutu Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 5 Tahun 2014 tentang Baku Mutu Air Limbah yaitu pH 6 sampai dengan pH 9. Pada kasus limbah cair Industri Minuman Ringan diperoleh nilai pH sebesar 6,5, artinya limbah cair Industri Minuman Ringan bersifat netral maka tidak diperlukan pengolahan berupa netralisasi pH maupun pengolahan lainnya yang sesuai.

2.1.2 Chemical Oxygen Demand (COD)

COD merupakan banyaknya oksigen dalam ppm atau miligram per liter (mg/L) yang dibutuhkan dalam kondisi khusus untuk menguraikan benda organik dengan menggunakan bahan kimiawi atau oksidator kimia yang kuat (potassium dikromat). (Syed R. Qasim, 1985, "Wastewater Treatment plant", CBS College Publishing, hal 39). Kandungan COD yang ada di industri minuman ringan adalah 2382 mg/L. Sedangkan pada Peraturan Gubernur (Pergub) Provinsi Jawa Timur No. 72 Tahun 2013 tentang Baku Mutu Limbah Cair untuk industri minuman ringan, COD yang diperbolehkan adalah 90 mg/L.

2.1.3 Biochemical Oxygen Demand (BOD)

BOD merupakan parameter yang menunjukkan banyaknya oksigen yang diperlukan untuk menguraikan senyawa organik yang terlarut dan tersuspensi dalam air oleh aktivitas mikroba. BOD₅ adalah banyaknya oksigen dalam ppm atau milligram per liter (mg/L) yang diperlukan untuk menguraikan benda organik oleh bakteri, sehingga limbah tersebut menjadi jernih kembali. Untuk itu semua diperlukan waktu 100 hari pada suhu 28° C. Akan tetapi di laboratorium dipergunakan waktu 5 hari sehingga dikenal sebagai BOD₅. (Sugiharto, 1987 hal 6).

Kandungan BOD yang ada di Industri Minuman Ringan adalah 1180 mg/L. Sedangkan pada Peraturan Gubernur (Pergub) Provinsi Jawa Timur No. 72 Tahun 2013 tentang Baku Mutu Limbah Cair untuk industri minuman ringan, BOD₅ yang diperbolehkan adalah 30 mg/L.

2.1.4 Total Suspended Solid (TSS)

Pada umumnya mengandung padatan yang bervariasi baik berupa padatan tersuspensi yang berbentuk koloid maupun padatan terlarut dalam air. Dalam karakteristik limbah, padatan tersuspensi pada umumnya disisihkan sebelum sampel dianalisa. Secara umum, 60% dari kandungan padatan tersuspensi dalam limbah dapat diendapkan, sedangkan sisanya dapat disisihkan melalui proses filtrasi / penyaringan (Metcalf & Eddy, 2003).

2.1.5 Minyak dan Lemak

Istilah minyak dan lemak, seperti yang umum digunakan, termasuk lemak, minyak, dan lilin ditemukan dalam air limbah. Istilah lemak minyak telah banyak digunakan oleh literatur. Kandungan minyak dan lemak dari air limbah dengan ekstraksi sampel limbah dengan trifluoroethane trikloro (minyak dan lemak yang larut dalam trifluoroethane trikloro).

Minyak dan lemak secara kimiawi sangat mirip, mereka adalah senyawa ester dari alkohol atau gliserol (gliserin) dengan asam lemak. Asam lemak gliserid yang cair pada suhu normal disebut minyak dan yang padat disebut *grease* (lemak). Jika minyak tidak dihilangkan sebelum air limbah diolah, dapat mengganggu kehidupan biologis di permukaan perairan permukaan dan membuat lapisan tembus

cahaya. Ketebalan minyak yang diperlukan untuk membentuk sebuah lapisan tembus cahaya di permukaan badan air sekitar 0,0003048 mm (0,0000120 in). (*Metcalf-Eddy, "Wastewater Engineering Treatment and Reuse 4th edition, hal 98)*

2.2 Unit Pengolahan Air Buangan

Tujuan utama dari pengolahan air buangan industri minuman ini adalah untuk mengurangi parameter pencemar yang melebihi baku mutu yang telah ditetapkan, diantaranya adalah BOD, COD, TSS, dan pH air limbah. Bangunan pengolahan air buangan memiliki beberapa kelompok/tingkatan pengolahan diantaranya adalah :

- a. Pengolahan Pendahuluan (*Preliminary Treatment*)
- b. Pengolahan Primer (*Primary Treatment*)
- c. Pengolahan Sekunder (*Secondary Treatment*)
- d. Pengolahan Lumpur (*Sludge Treatment*)

2.2.1 Pengolahan Pendahuluan (*Preliminary Treatment*)

Proses pengolahan awal ini merupakan proses pada awal pengolahan secara fisik yang dilakukan untuk membersihkan dan menghilangkan sampah terapung yang berukuran besar atau sedang dari pasir agar mempercepat proses pengolahan selanjutnya. Selain itu pre-treatment juga berfungsi untuk memindahkan atau menyalurkan air limbah dari unit operasi produk industri yang menghasilkan limbah ke bangunan pengolahan air limbahnya. Unit proses pengolahan *preliminary treatment* kawasan industri meliputi :

A. Saluran Pembawa

Saluran Pembawa adalah saluran yang mengantarkan air dari satu bangunan ke bangunan pengolahan air limbah lainnya. Saluran pembawa memiliki 2 bentuk yaitu persegi dan lingkaran. Saluran pembawa yang berbentuk persegi maupun lingkaran ini biasa terbuat dari dinding berbahan beton maupun pipa penyaluran, keduanya dapat di desain secara tertutup maupun terbuka pada proses penyaluran air limbah (*Hermana et al., n.d.*). Saluran ini mampu mengalirkan air dengan memerhatikan beda ketinggian atau

perbedaan elevasi 10 antara bangunan yang satu dengan bangunan yang lainnya. Umumnya setiap 10 meter saluran pembawa terdapat bak kontrol yang akan mengontrol debit yang dikeluarkan. Air tidak akan mengalir jika saluran tersebut datar, maka dibutuhkan kemiringan (*slope*) (Nasoetion et al., 2017).

Saluran pembawa dibagi 2, yaitu saluran terbuka (*Open Channel Flow*) dan saluran tertutup (*pipe flow*). Saluran terbuka (*Open Channel Flow*) adalah sistem saluran yang permukaan airnya terpengaruh dengan udara luar (atmosfer). Ada beberapa macam bentuk dari saluran terbuka, diantaranya trapesium, segi empat, segitiga, setengah lingkaran, ataupun kombinasi dari bentuk tersebut. Saluran tertutup (*pipe flow*) adalah sistem saluran yang permukaan airnya tidak terpengaruh dengan udara luar (atmosfer). Konstruksi saluran tertutup terkadang ditanam pada kedalaman tertentu di dalam tanah yang disebut dengan sistem sewerage. Namun walaupun tertutup, alirannya tetap mengikuti gravitasi seperti halnya saluran terbuka.

Adapun kriteria perencanaan yang disediakan untuk saluran pembawa pada pengolahan air limbah antara lain:

- Kecepatan aliran (v) = 0,3 – 2,4 m/s
 - Kemiringan (*slope*) maksimal = 1,10 – 3m/m
 - *Freeboard* saluran = 5-30%
 - Dimensi saluran direncanakan (Ws) = $B = 2H$
 - Kekasaran saluran (n) = 0,011-0,020 (saluran terbuka bahan beton)
- (Sumber : Bambang Triadmodjo, 2008, Hidraulika H, Table 4.2 Harga Koefisien Manning)

Tabel 2. 1 Koefisien n Manning untuk Saluran Pembawa

Bahan Batas	n Manning
Kayu yang diketam (diserut)	0,012
Kayu yang tidak diserut	0,012
Beton yang dihaluskan	0,013
Beton yang tidak dihaluskan	0,014
Besi tuang	0,015
Bata	0,016
Baja yang dikeling	0,018
Logam bergelombang	0,022
Batu-batu	0,025
Tanah	0,025
Tanah dengan batu/rerumputan	0,035
Kerikil	0,029

(Sumber : Spellman, F. R. (2013). *Water & Wastewater infrastructure: Energy efficiency and sustainability*. Halaman 285)

Rumus perhitungan yang digunakan untuk saluran pembawa, sebagai berikut :

- Luas permukaan (A)

$$A = \frac{Q \left(\frac{m^3}{detik} \right)}{v \left(\frac{m}{detik} \right)}$$

Keterangan :

A = Luas permukaan saluran pembawa (m²)

Q = debit limbah (m³/detik)

V = kecepatan alir fluida dalam saluran pembawa (m/detik)

(Sumber; Chow, Ven Te, 1959, *Open Channel Hydraulics*, Mc. Graw-Hill Book Company, Inc. Halaman 5)

- Kedalaman Saluran (H)

$$H = \frac{A(m^2)}{B(m)}$$

Keterangan :

H = Ketinggian air dalam saluran pembawa (m)

A = luas permukaan saluran pembawa (m²)

B = lebar saluran pembawa (m)

- Ketinggian total

$$H_{total} = H + (20\% \times H)$$

Keterangan :

H = Ketinggian air dalam saluran pembawa (m), freeboard = 20% dari ketinggian total.

- Cek Kecepatan (Rumus Manning)
- Cek waktu tinggal maksimum saluran pembawa (Td)
- Jari jari Hidrolis
- Slope saluran (rumus manning)

$$S = \left(\frac{Q \times n}{1,49 \times A \times R^{2/3}} \right)^2$$

- Headloss Saluran Pembawa

$$H_f = Slope \times L \text{ saluran}$$

Keterangan :

H_f = headloss saluran (m)

L = panjang saluran (m)

B. Bar Screen (Penyaringan)

Unit pengolahan pertama yang biasa digunakan pada proses pengolahan air buangan adalah *screening*. *Screen* merupakan sebuah alat berongga yang memiliki ukuran seragam yang digunakan untuk menahan padatan yang ada pada influent air buangan agar tidak mengganggu proses pengolahan pada bangunan pengolahan air buangan selanjutnya (*Metcalf & Eddy et al., 2007*).

Peran utama screening adalah untuk menghilangkan bahan-bahan kasar dari aliran air yang mampu:

- 1) merusak peralatan unit pengolahan berikutnya;

- 2) mengurangi kinerja dan efektivitas unit dan proses pengolahan secara keseluruhan; dan
- 3) mencemari saluran air. Adapun jenis dari bar screen adalah fine screen (saringan halus) dan coarse screen (saringan kasar).

Saluran terbuka berfungsi untuk menyalurkan limbah dari outlet limbah proses produksi industri minuman ringan menuju ke unit pengolahan limbah. Berdasarkan (Liu and Liptak, 1999), beberapa hal yang harus diperhatikan dalam merencanakan *bar screen* antara lain adalah:

- Kecepatan aliran,
- Jarak antar bar,
- Ukuran bar (batang),
- Sudut inklinasi,
- *Headloss* yang diizinkan

Tabel 2. 2 Kriteria Desain Bar Screen

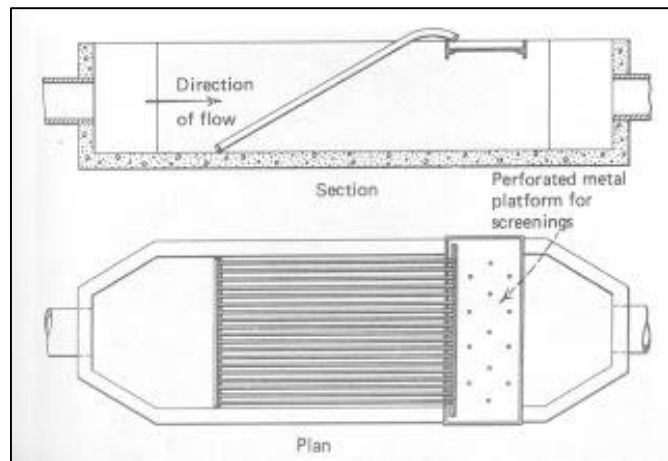
Faktor Desain	Unit	Nilai
Ukuran bar*		5 – 15
- Lebar	mm	25 – 38
- Kedalaman	mm	1,27 – 5,08
Jarak antar batang**	mm	30 – 60
Slope dari vertikal**	(°)	
Kecepatan**		
- Maksimum	m/detik	3
- Minimum	m/detik	1
Headloss yang diperbolehkan*	mm	50

Referensi : *Metcalf and Eddy, 2003

**Azad, 1976

Terdapat 2 jenis saluran pembawa yaitu saluran terbuka dan saluran tertutup berupa pipa. *Screening* mempunyai beberapa tipe, antara lain sebagai berikut :

1) *Coarse Screen* (Penyaring Kasar)



Gambar 2. 1 Coarse screen

(Sumber : <https://gedehace.blogspot.com/2009/03/coarse-screen.html>)

Dalam pengolahan air limbah, penyaring kasar digunakan untuk melindungi pompa, katup, saluran pipa, dan peralatan lainnya dari kerusakan atau tersumbat oleh sampah yang berukuran 6-150 mm. Pembersihan penyaring kasar dapat secara manual dengan memanfaatkan tenaga manusia atau dengan mekanis. Pembersihan secara manual biasanya dilakukan pada industri kecil ataupun sedang. Sampah padat yang berukuran sedang atau besar di saring dengan sederet baja yang diletakkan dan dipasang melintang arah aliran. Screening dengan pembersihan secara mekanik, bahan nya terbuat dari stainless steel atau dari plastik.

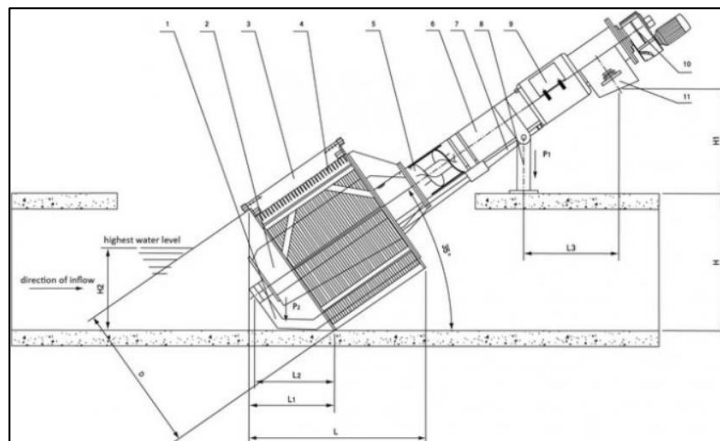
Tabel 2. 3 Kriteria Perencanaan *Coarse Screen*

Parameter	U.S Customary Units			SI Units		
	Metode Pembersihan			Metode Pembersihan		
	Unit	Manual	Mekanik	Unit	Manual	Mekanik

Ukuran Batang						
Lebar	Inch	0,2 - 0,6	0,2 - 0,6	mm	May-15	May-15
Kedalaman	Inch	1,0 - 1,5	1,0 - 1,5	mm	25 - 38	25 - 38
Jarak antar batang	Inch	1,0 - 2,0	0,6 - 3,0	mm	25 - 50	15 - 75
Kemiringan terhadap vertikal	°	30 - 45	0 - 30	°	30 - 45	0 - 30
Kecepatan						
Maksimum	Ft/s	1,0 - 2,0	2,0 - 3,5	m/s	0,3 - 0,6	0,6 - 1,0
Minimum	Ft/s		1,0 - 1,6	m/s		0,3 - 0,5
Headloss	Inch	6	Jun-24	mm	150	150 - 600

(Sumber ; Metcalf and Eddy, WWET, and Reuse 4th Edition, Halaman 316)

2) Fine Screen



Gambar 2. 2 Fine screen

(Sumber : <https://indonesian.wastewatertreatmentmachines.com/sale-12456519-mechanical-bar-screen-wastewater-bar-screen-for-sewage-treatment-plant.html>)

Fine screen atau penyaring halus berfungsi untuk menyaring partikel-partikel yang berukuran kurang dari 6 mm. *Screen* ini dapat di gunakan untuk pengolahan pendahuluan (*Pre-Treatment*) maupun pengolahan pertama atau utama (*Primary Treatment*). Penyaring halus (*Fine Screen*) yang digunakan untuk pengolahan pendahuluan (*Premilinary Treatment*) adalah seperti, ayakan kawat (*static*

wedgewire), drum putar (*rotary drum*), atau seperti anak tangga (*step type*). Penyaring halus (*Fine Screen*) yang dapat digunakan untuk menggantikan pengolahan utama (seperti pada pengolahan pengendapan pertama/primary clarifier) pada instalasi kecil pengolahan air limbah dengan desain kapasitas mulai dari 0,13 m³/dt.

Tabel 2. 4 Klasifikasi Fine Screen

Jenis Screen	Permukaan Screen			Bahan Screen	Penggunaan
	Klasifikasi ukuran	Range ukuran			
		inch	mm		
Miring (diam)	Sedang	0,01 - 0,1	0,25 - 2,5	Ayakan kawat terbuat dari stainless-steel	Pengolahan primer
Drum (Berputar)	Kasar	0,1 - 0,2	2,5 - 5	Ayakan kawat terbuat dari stainless-steel	Pengolahan pendahuluan
	Sedang	0,01 - 0,1	0,25 - 2,5	Ayakan kawat terbuat dari stainless-steel	Pengolahan primer
	Halus		6 - 35 μ m	Stainless-steel dan kain polyester	Meremoval residual dari suspended solid sekunder
Horizontal Reciprocating Tangential	Sedang	0,06	0,17	Batangan Stainless-steel	Gabungan dengan saluran air hujan
	Halus	0,0475	1200 μ m	Jala-jala yang terbuat dari stainless-steel	Gabungan dengan saluran pembawa

(Sumber : Metcald and Eddy WWET, and Reuse 4th Edition, Tabel 5.4)

3) Micro Screen

Microscreens berfungsi untuk menyaring padatan halus, yang berukuran kurang dari 0,5 μm . Prinsip dari microscreens ini adalah bahan padat kasar dihilangkan dengan sederet bahan baja yang diletakan dan dipasang melintang arah aliran. Kecepatan aliran harus lebih dari 0,3 m/detik, sehingga bahan padatan bahan padatan yang tertahan di depan tidak terjepit. Jarak antar batang adalah 20-40 mm dan bentuk penampang batang tersebut persegi empat, dengan panjang berukuran 10 mm x 50 mm (Metcalf, 2003).

Pada unit pengolahan ini menggunakan bar screen jenis penyaringan kasar atau coarse screen. Rumus yang digunakan pada unit pengolahan ini sebagai berikut:

- Jumlah batang/kisi

$$W_s = n \cdot d + (n + 1) \cdot R$$

Keterangan :

W_s = Lebar saluran pembawa = lebar screen (m)

N = Jumlah batang / kisi

D = Lebar batang (m)

r = Jarak antar batang (M)

- Lebar bukaan kisi

$$W_c = W_s - n \cdot d$$

Keterangan :

W_c = Lebar bukaan kisi (m)

W_s = Lebar saluran pembawa = lebar screen (m)

n = Jumlah batang / kisi

d = Lebar batang (m)

- Panjang kisi

$$X = \frac{y}{\sin\theta}$$

Keterangan :

X = Panjang kisi (m)

Sin θ = Kemiringan screen

Y = Kedalaman total saluran pembawa = tinggi screen (m)

- Cek Kecepatan setelah melalui kisi

$$v_i = \frac{Q}{W_c \cdot h}$$

Keterangan :

V_i = Kecepatan setelah melalui kisi (m/s)

Q = Debit limbah (m³/s)

W_c = Lebar bukaan kisi (m)

h = Kedalaman total saluran pembawa = tinggi screen (m)

- Headloss pada bar screen

Ketika non clogging

$$h_L = \frac{1}{C} \times \left(\frac{V^2 - v^2}{2g} \right)$$

Keterangan :

h_L = Headloss saat clean screen

C = Koefisien discharge (0,7 untuk clean screen)

V₂ = Kecepatan alir fluida dalam saluran pembawa (m/s)

v₂ = Kecepatan setelah melalui kisi (m/s)

Ketika clogging :

$$h_L = \frac{1}{C} \times \left(\frac{V^2 - v^2}{2g} \right)$$

Keterangan :

h_L = Headloss saat clogged screen

C = Koefisien discharge (0,6 untuk clean screen)

V₂ = Kecepatan alir fluida dalam saluran pembawa (m/s)

v₂ = Kecepatan setelah melalui kisi (m/s)

(Sumber: Metchalf & Eddy, *Wastewater Engineering Treatment & Reuse, Fourth Edition, hal 316*)

C. Bak Penampung

Bak penampung merupakan bak yang digunakan untuk menampung air limbah yang berasal dari saluran pembawa. Bak penampung juga sebuah unit penyeimbang sehingga debit dan kualitas limbah yang masuk ke instalasi dalam keadaan konstan. Cara kerja dari unit pengolahan ini adalah, air limbah yang sudah dialirkan melalui saluran pembawa, maka selanjutnya air limbah dialirkan menuju bak penampung agar debitnya konstan.

Rumus perhitungan pada unit pengolahan ini adalah sebagai berikut :

- Volume Bak Penampung (A_{surface})

$$V = Q \times td$$

Keterangan :

V = volume bak penampung (m^3)

Q = debit air limbah (m^3/s)

td = waktu detensi (s)

- Dimensi Bak Penampung

$$V = L \times B \times H$$

Keterangan :

V = Volume bak penampung (m^3)

L = Panjang bak penampung (m)

B = Lebar bak penampung (m)

H = Kedalaman bak penampung (m)

- Ketinggian total Bak Penampung (A_{cross})

$$H_{\text{total}} = H + (10\% - 30\% \times H)$$

Keterangan ;

H total = Kedalaman bak (m)

H = Ketinggian air dalam bak penampung (m)

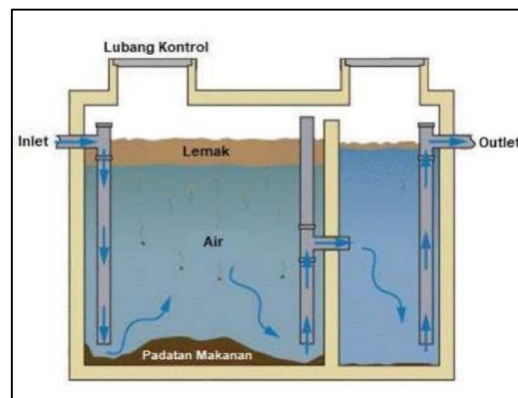
Freeboard = 5% - 30%

2.2.2 Pengolahan Pertama (*Primary Treatment*)

A. *Grease Trap*

Grease Trap adalah alat perangkap *grease* (lemak) atau minyak dan oli. Alat ini membantu untuk memisahkan minyak dari air, sehingga minyak

tidak menggumpal dan membeku di pipa pembuangan dan membuat pipa tersumbat. Pemisahan *grease trap* ini memanfaatkan sifat natural lemak/minyak yang memiliki berat jenis yang lebih ringan dari pada air, sehingga cenderung mengapung/berada di permukaan. Cara kerja grease trap digambarkan dalam skema berikut: Air masuk melalui inlet kemudian Minyak akan terangkat karena masa jenis minyak lebih ringan daripada air Setelah itu Lumpur akan mengendap dan di tahan di penyaring dan yang terakhir Air keluar melalui pipa outlet.



Gambar 2. 3 Grease trap

(Sumber : Dirjen Cipta Karya, 2013)

B. Koagulasi

Koagulasi dan flokulasi merupakan dua proses yang terangkai menjadi kesatuan proses tak terpisahkan. Koagulasi merupakan proses destabilisasi partikel koloid dan padatan tersuspensi dengan penambahan senyawa kimia yang dinamakan zat koagulan sehingga dapat membentuk flok-flok yang dapat diendapkan. Dalam kondisi stabil partikel koloid mempunyai ukuran tertentu sehingga gaya tarik-menarik antar partikel lebih kecil daripada gaya tolak-menolak akibat dari muatan listrik. Dalam proses koagulasi yang terjadi secara destabilisasi membentuk partikel-partikel koloid bersatu dan menjadi partikel yang lebih besar. Dengan demikian partikel koloid yang

awalnya sukar dengan air, setelah proses koagulasi partikel koloid tersebut akan membentuk kumpulan partikel atau flok yang lebih besar sehingga memudahkan pemisahan flok pada proses selanjutnya yaitu sedimentasi.

Bahan kimia yang umumnya digunakan untuk proses koagulasi dibagi menjadi tiga golongan, yaitu zat koagulan, zat alkali, dan zat pembantu koagulan. Zat koagulan merupakan bahan kimia yang digunakan untuk menggumpalkan partikel- partikel tersuspensi, zat warna, koloid, dan lain sebagainya agar membentuk flok atau gumpalan partikel yang lebih besar. Sedangkan zat alkali dan zat pembantu koagulan merupakan zat yang memiliki fungsi untuk membantu proses pembentukan flok agar dapat berjalan lebih cepat dan baik, selain itu juga fungsi zat alkali dan zat pembantu koagulan dapat mengatur kondisi pH dalam keadaan stabil pada air baku sehingga dapat menunjang proses pada flokulasi (Said, 2017).

Proses koagulasi ini merupakan proses dasar pengolahan air untuk menghilangkan partikel-partikel koloid dan padatan tersuspensi. Dalam proses tersebut terdapat pengadukan dalam pengolahan air limbah, diantaranya adalah pengadukan cepat dan pengadukan lambat. Pengadukan cepat (flash mixing) bertujuan untuk mempercepat penyebaran bahan kimia (koagulan) melalui air limbah. Koagulan yang paling efektif untuk digunakan dalam pengadukan cepat adalah alum dan ferric chloride karena proses hidrolisnya berjalan lebih cepat yang selanjutnya akan mengalami adsorpsi partikel koloid. Sedangkan pada pengadukan lambat untuk proses kecepatan penyebaran koagulan lebih lama dibandingkan pada proses flash mixing. Koagulan yang umum digunakan dalam proses koagulasi adalah PAC, alumunium sulfat, feri sulfat, dan ferro sulfat (Syaiiful, Jn, & Andriawan, 2014).

Adapun faktor-faktor yang mempengaruhi proses koagulasi adalah sebagai berikut (Rahimah, Heldawati, & Syauqiah, 2016) :

- 1) Suhu air

Apabila suhu dalam air rendah maka akan berpengaruh terhadap efisiensi proses koagulasi dan besarnya daerah pH optimum pada

proses koagulasi akan berubah dan merubah pembubuhan dosis koagulan.

2) Derajat Keasaman (pH)

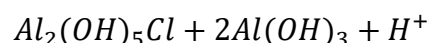
Proses koagulasi dapat berjalan dengan baik apabila didukung dengan keadaan pH yang optimum.

3) Jenis Koagulan

Jenis koagulan yang digunakan dilihat dari segi ekonomi dan daya efektivitas dari pada koagulan dalam pembentukan flok. Koagulan yang efektif digunakan biasanya dalam bentuk koagulan larutan dibandingkan dengan koagulan dalam bentuk serbuk. Jenis koagulan yang kami pakai pada Perancangan Pengolahan Air Buangan ialah koagulan PAC. PAC (*Poly Aluminium Chloride*) adalah chemical yang banyak dipakai untuk penjernihan air. PAC penjernihan air merupakan koagulan yang memiliki banyak keunggulan dibanding Aluminium Sulfat (tawas). Keunggulan PAC yaitu :

- a) Lebih aman
- b) Kualitas dan biaya
- c) Proses lebih cepat
- d) Rentang pH
- e) Konduktivitas rendah

Untuk rumus kimia pada PAC (*Poly Aluminium Chloride*) ialah



Pada reaksi di atas, hidrolisis PAC hanya dilepaskan 1 ion H^+ , yang menyebabkan pH air yang menggunakan PAC kurang asam dibanding yang menggunakan Aluminium Sulfat.

4) Kecepatan Pengendapan

Dalam pengadukan hal yang terpenting adalah proses kecepatan dalam mencampur bahan kimia (koagulan) dengan air baku secara merata sehingga semua koagulan yang dibubuhkan dapat bereaksi dengan partikel-partikel koloid. Kecepatan pengadukan berpengaruh terhadap pembentukan flok bila pengadukan lambat

maka yang terjadi flok terbentuk dengan lambat dan sebaliknya apabila terjadi pengadukan cepat maka flok dengan cepat akan terbentuk namun bisa berakibat flok akan pecah.

5) Kadar Ion terlarut

Pengaruh ion yang terlarut terhadap proses koagulasi adalah adanya anion yang lebih besar daripada kation. Hal tersebut mengakibatkan ion natrium, kalsium dan magnesium tidak memberikan pengaruh yang berarti terhadap proses koagulasi.

6) Tingkat Kekeruhan

Pengaruh kekeruhan dalam air limbah terjadi apabila tingkat kekeruhan rendah maka proses destabilisasi akan sukar terhadap air, begitupun sebaliknya tingkat kekeruhan tinggi akan mempengaruhi proses destabilisasi secara cepat.

7) Dosis Koagulan

Pembentukan flok terjadi karena faktor dari dosis koagulan yang dibubuhkan. Bila pembubuhan koagulan sesuai dengan kebutuhan dosis yang dibutuhkan maka proses pembentukan flok akan berjalan dengan baik.

Dalam proses koagulasi-flokulasi pengadukan merupakan operasi yang mutlak diperlukan. Pengadukan cepat berperan penting dalam pencampuran koagulan dan destabilisasi partikel. Sedangkan pengadukan lambat berperan dalam upaya penggabungan flok. Kecepatan pengadukan merupakan parameter penting dalam pengadukan yang dinyatakan dengan gradien kecepatan (*Ali Masduqi dan Abdu F. Assomadi, 2012*).

Tabel 2. 5 Kriteria Impeller

Type Impeller	Kecepatan Putaran	Dimensi
<i>Paddle</i>	20 – 150 rpm	Diameter = 50%-80% lebar Bak lebar = 0,1 – 1,167 Diameter paddle

<i>Turbine</i>	10 – 150 rpm	Diameter = 30%-50% Lebar bak
<i>Propeller</i>	400 – 1750 rpm	Diameter = Max. 45cm

(Sumber: Reynolds, 1996, page 184 & 185)

Proses selanjutnya adalah proses flokulasi, yaitu penggabungan inti flok menjadi flok berukuran lebih besar yang memungkinkan partikel dapat mengendap. Penggabungan flok kecil menjadi flok besar terjadi karena adanya tumbukan antar flok. Tumbukan ini terjadi akibat adanya pengadukan lambat.

Pemilihan koagulan dan konsentrasinya dapat ditentukan berdasarkan studi laboratorium menggunakan jar test apparatus untuk mendapatkan kondisi optimum. *Ali Masduqi, Abdu F. Assomadi. 2012).*



Gambar 2. 4 Jar test

(Sumber : <https://www.saka.co.id/product-detail/velp/jlt4-flocculator>)

Pengadukan merupakan operasi yang mutlak diperlukan pada proses koagulasi-flokulasi. Pengadukan cepat berperan penting dalam pencampuran koagulan dan destabilisasi partikel. pengadukan cepat dalam pengolahan air adalah untuk menghasilkan turbulensi air sehingga dapat mendispersikan bahan kimia yang akan dilarutkan dalam air. Secara umum, pengadukan cepat adalah pengadukan yang dilakukan pada gradien kecepatan besar (300 sampai 1000 detik⁻¹) selama 5 hingga 60 detik atau nilai GTd (bilangan Champ) berkisar 300 hingga 1700. Secara spesifik, nilai

G dan t_d bergantung pada maksud atau sasaran pengadukan cepat (Ali Masduqi, Abdu F. Assomadi. (2012). *Operasi dan Proses Pengolahan Air*. Surabaya: ITS Press.) Untuk kriteria desain pengadukan cepat, ialah :

1. Untuk proses koagulasi-flokulasi
 - Waktu detensi = 20 – 60 detik
 - G = 1000-700 detik^{-1}
2. Untuk penurunan kesadahan
 - Waktu detensi = 20 – 60 detik
 - G = 1000 – 700 detik^{-1}
3. Untuk presipitasi kimia (penurunan fosfat, logam berat, dan lain lain)
 - Waktu detensi = 0,5 – 6 menit
 - G = 1000 – 700 detik^{-1}

Sedangkan pengadukan lambat berperan dalam upaya penggabungan flok. (Ali Masduqi, Abdu F. Assomadi. 2012). Berdasarkan kecepatannya, pengadukan terbagi menjadi 5, sebagai berikut :

- **Pengadukan Lambat**

Pengadukan lambat dalam pengolahan air adalah untuk menghasilkan gerakan air secara perlahan sehingga terjadi kontak antar partikel untuk membentuk gabungan partikel hingga berukuran besar. Pengadukan lambat adalah pengadukan yang dilakukan dengan gradien kecepatan kecil (20 sampai 100 detik^{-1}) selama 10 hingga 60 menit atau nilai Gt_d (bilangan Champ) berkisar 48000 hingga 210000. Untuk menghasilkan flok yang baik, gradien kecepatan diturunkan secara bertahap agar flok yang telah terbentuk tidak pecah lagi dan berkesempatan bergabung dengan yang lain membentuk gumpalan yang lebih besar. Secara spesifik, nilai G dan waktu detensi untuk proses flokulasi adalah sebagai berikut (Ali Masduqi, Abdu F. Assomadi. (2012). *Operasi dan*

Proses Pengolahan Air. Surabaya: ITS Press.) Kriteria desain dalam pengadukan lambat :

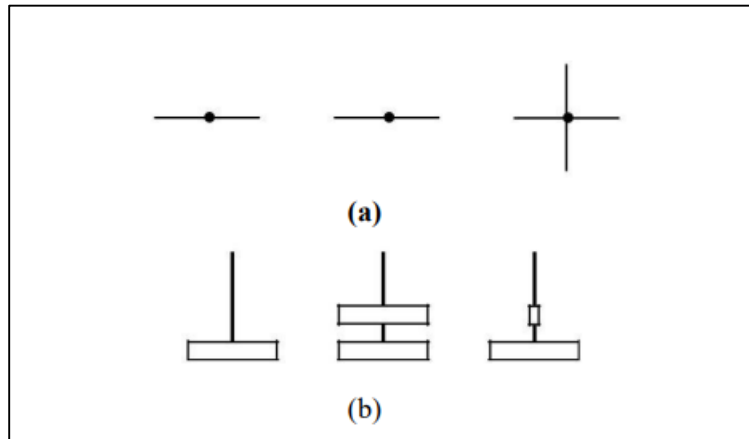
1. Untuk Air Sungai
 - $G = 10 - 50 \text{ detik}^{-1}$
2. Untuk air waduk
 - Waktu = 30 menit
 - $G = 10^{-7}$
 - 5 detik
3. Untuk air keruh
 - Waktu dan G lebih rendah
4. Bila menggunakan gram besi sebagai koagulan
 - G tidak lebih dari 50 detik^{-1}
5. Untuk flokulator 3 kompartemen
 - G Kompartemen 1 : nilai terbesar
 - G Kompartemen 2 : 40% dari G kompartemen I
 - G Kompartemen 3 : nilai terkecil
6. Untuk penurunan Kesadahan (pelarutan kapur dan soda)
 - Waktu detensi = minimum 30 menit
 - $G = 10 - 50 \text{ detik}^{-1}$
7. Untuk presipitasi kimia (penurunan fosfat, logam berat, dan lainnya)
 - Waktu detensi = 15 - 30 menit
 - $G = 20 - 75 \text{ detik}^{-1}$
 - $GTd = 10.000 - 100.000$

Pengadukan lambat dapat dilakukan dengan beberapa cara, antara lain :

- **Pengadukan Mekanis**

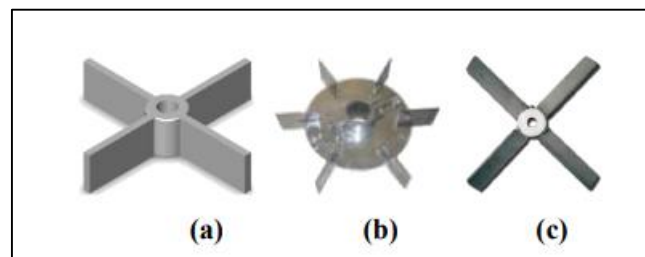
Pengadukan mekanis adalah metode pengadukan menggunakan peralatan mekanis yang terdiri atas motor, poros

pengaduk (*shaft*), dan alat pengaduk (*impeller*). Peralatan tersebut digerakkan dengan motor bertenaga listrik. Berdasarkan bentuknya, ada tiga macam *impeller*, yaitu *paddle* (pedal), *turbine*, dan *propeller* (balong-baling).



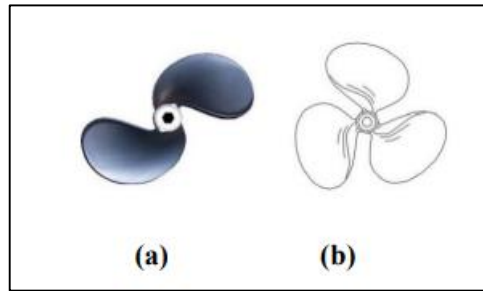
Gambar 2. 5 Tipe *paddle*

(Sumber : (Qasim, S. R. (1985). *Wastewater Treatment Plant : Planning, Design and Operation*. New York: Holt, Reinhart and Winston.)



Gambar 2. 6 Tipe *turbine*

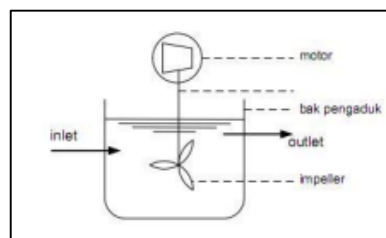
(Sumber : (Qasim, S. R. (1985). *Wastewater Treatment Plant : Planning, Design and Operation*. New York: Holt, Reinhart and Winston.)



Gambar 2. 7 Tipe *propeller*

(Sumber: (Qasim, S. R. (1985). *Wastewater Treatment Plant : Planning, Design and Operation*. New York: Holt, Reinhart and Winston.)

Pengadukan mekanis dengan tujuan pengadukan cepat umumnya dilakukan dalam waktu singkat dalam satu bak. Faktor penting dalam perancangan alat pengaduk mekanis adalah dua parameter pengadukan, yaitu G dan td . Sedangkan pengadukan mekanis dengan tujuan pengadukan lambat umumnya memerlukan tiga kompartemen dengan ketentuan G di kompartemen I lebih besar daripada G di kompartemen II dan G di kompartemen III adalah yang paling kecil. Pengadukan mekanis yang umum digunakan untuk pengadukan lambat adalah tipe *paddle* yang dimodifikasi hingga membentuk roda (*paddle wheel*), baik dengan posisi horizontal maupun vertikal.



Gambar 2. 8 Pengadukan cepat dengan alat pengaduk

(Sumber: (Ali Masduqi, Abdu F. Assomadi. (2012). *Operasi dan Proses Pengolahan Air*. Surabaya: ITS Press.))

Tabel 2. 6 Nilai Gradien Kecepatan dan Waktu Pengadukan

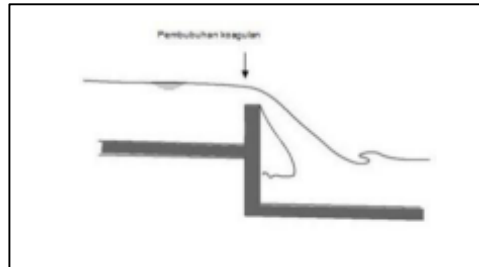
Waktu Pengadukan, td (detik)	Gradien Kecepatan (l/detik)
20	1000
30	900
40	790
50 ≥	700

(Sumber : Tom D. Reynolds, Paul A. Richards. (1996). *Unit Operation and Processes in Environmental Engineering (Second Edition)*. Boston: PWS Publishing Company.)

- **Pengadukan Hidrolis**

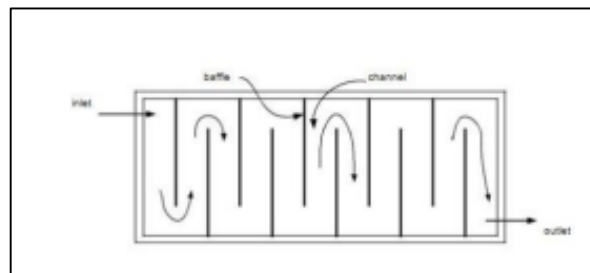
Pengadukan hidrolis adalah pengadukan yang memanfaatkan aliran air sebagai tenaga pengadukan. Tenaga pengadukan ini dihasilkan dari energi hidrolik yang dihasilkan dari suatu aliran hidrolik. Energi hidrolik dapat berupa energi gesek, energi potensial (jatuhan) atau adanya lompatan hidrolik dalam suatu aliran. Jenis pengadukan hidrolis yang digunakan pada pengadukan cepat haruslah aliran air yang menghasilkan energi hidrolik yang besar. Dalam hal ini dapat dilihat dari besarnya kehilangan energi (*headloss*) atau perbedaan muka air. Dengan tujuan menghasilkan turbulensi yang besar tersebut, maka jenis aliran yang sering digunakan sebagai pengadukan cepat adalah terjunan, loncatan hidrolik, dan parshall flume. Jenis pengadukan hidrolis yang digunakan pada pengadukan lambat adalah aliran air yang menghasilkan energi hidrolik yang lebih kecil. Aliran air dibuat relatif lebih tenang dan dihindari terjadinya turbulensi agar flok yang terbentuk tidak pecah lagi. Beberapa contoh pengadukan hidrolis untuk pengadukan lambat adalah kanal bersekat (*perforated wall*, *gravel bed* dan

sebagainya. (Ali Masduqi, Abdu F. Assomadi. (2012). *Operasi dan Proses Pengolahan Air*. Surabaya: ITS Press.)



Gambar 2. 9 Pengadukan cepat dengan terjunan

(Sumber : Ali Masduqi, Abdu F. Assomadi. (2012). *Operasi dan Proses Pengolahan Air*. Surabaya: ITS Press.)



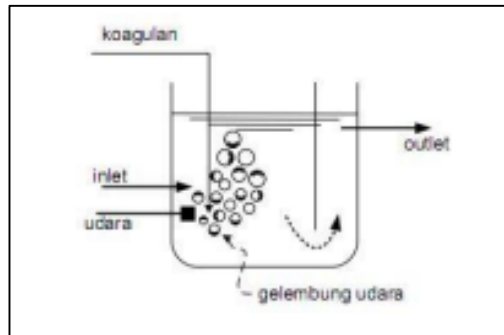
Gambar 2. 10 Baffle channel

(Sumber : Ali Masduqi, Abdu F. Assomadi. (2012). *Operasi dan Proses Pengolahan Air*. Surabaya: ITS Press.)

- **Pengadukan Pneumatis**

Pengadukan pneumatis adalah pengadukan yang menggunakan udara (gas) berbentuk gelembung sebagai tenaga pengadukan. Gelembung tersebut dimasukkan ke dalam air dan akan menimbulkan gerakan pada air. Injeksi udara bertekanan ke dalam air akan menimbulkan turbulensi, akibat lepasnya gelembung udara ke permukaan air. Aliran udara yang digunakan untuk pengadukan cepat harus mempunyai tekanan yang cukup besar sehingga mampu menekan dan menggerakkan air. Makin besar tekanan udara,

kecepatan gelembung udara yang dihasilkan makin besar dan diperoleh turbulensi yang makin besar pula.



Gambar 2. 11 Pengadukan cepat secara pneumatis

(Sumber : Ali Masduqi, Abdu F. Assomadi. (2012). *Operasi dan Proses Pengolahan Air*. Surabaya: ITS Press.)

Koagulan yang banyak digunakan dalam pengolahan air minum adalah aluminium sulfat atau garam-garam besi. Terkadang koagulan-pembantu, seperti polielektrolit dibutuhkan untuk memproduksi flok yang lebih besar agar padatan tersuspensi lebih cepat mengendap. Faktor utama yang mempengaruhi proses koagulasi-flokulasi air adalah kekeruhan, padatan tersuspensi, temperatur, pH, komposisi dan konsentrasi kation dan anion, durasi dan tingkat agitasi selama koagulasi dan flokulasi, dosis koagulan, dan jika diperlukan, koagulan-pembantu.

C. Bak Sedimentasi I

Bak Sedimentasi atau Bak Pengendap 1 berfungsi untuk memisahkan padatan tersuspensi dan terlarut dari cairan dengan menggunakan sistem gravitasi dengan syarat kecepatan horizontal partikel tidak boleh lebih besar dari kecepatan pengendapan. Bak sedimentasi bentuk rectangular, terbagi menjadi 4 zona, yaitu :

1. Zona Inlet

Zona inlet berfungsi untuk mendistribusikan air ke seluruh area bak secara seragam, mengurangi energi kinetik air yang masuk, serta untuk memperlancar transisi dari kecepatan air yang tinggi menjadi kecepatan air yang rendah yang sesuai untuk terjadinya proses pengendapan di zona pengendapan (*Kawamura, 2000*).

2. Zona Pengendapan (*Settling zone*)

Proses pengendapan pada zona pengendapan pada dasarnya ditentukan oleh faktor-faktor yaitu karakteristik partikel tersuspensi, Overflow rate , dan efisiensi bak.

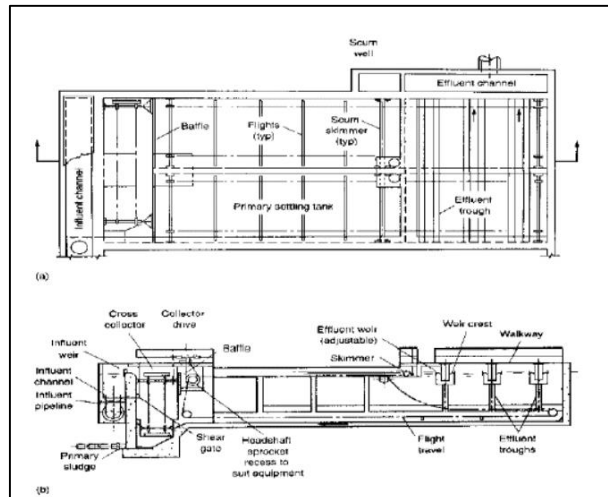
3. Zona Lumpur (*Sludge Zone*)

Zona lumpur merupakan zona dimana partikel-partikel diskret yang telah mengendap berada. Zona ini memiliki kemiringan tertentu menuju ke *hopper* yang terletak di bagian bawah inlet. Kemiringan dasar bak Rectangular adalah sebesar 1-2%. Zona lumpur didesain memiliki kemiringan tertentu agar mempermudah pada saat pembersihan lumpur. Kemiringan yang cukup terutama untuk pembersihan yang dilakukan secara manual, sebab pembersihan secara manual biasanya dilakukan dengan cara menggelontorkan air agar lumpur terbawa oleh air (*Qasim, 1985*).

4. Zona Outlet

Desain Outlet biasanya terdiri dari pelimpah yang dirancang sedemikian rupa untuk mengurangi terjadinya aliran pendek. *Weir loading rate* adalah beban pelimpah (dalam hal ini debit air) yang harus ditanggung per satuan waktu dan panjangnya. Pada dasarnya satu pelimpah sudah cukup, namun jika hanya ada satu pelimpah, maka *weir loading rate* akan menjadi besar. Hal tersebut dapat mengganggu proses pengendapan, sebab terjadi aliran ke atas menuju pelimpah dengan kecepatan cukup besar yang menyebabkan partikel yang bergerak ke bawah untuk mengendap terganggu. Terdapat beberapa alternatif untuk mendesain pelimpah agar luas

yang dibutuhkan untuk zona Outlet tidak terlalu besar dan beban pelimpah juga tidak terlalu besar.



Gambar 2. 12 Bak pengendap 1

(Sumber : Metcalf dan Eddy, 2004)

Berikut ini adalah kriteria perencanaan dan rumus yang digunakan untuk menghitung Bak Sedimentasi pada setiap bagiannya :

1) **Zona Settling**

Kriteria Perencanaan

- Waktu detensi (td) = 1,5 – 2,5 jam
- *Overflow rate* (Ofr) = 30–50m³/m². hari
- *Weir Loading* = 125–500m³/m² . hari

(Sumber: Metcalf & Eddy. 2003. *Wastewater Treatment and Reuse 4th edition*, hal 398. New York: McGraw-Hill Companies, Inc)

- *Specify Gravity Sludge* (Sg) = 1,03
- *Specify Gravity Solid* (Ss) = 1,4

(Sumber: Metcalf & Eddy. 2003. *Wastewater Treatment and Reuse 4th edition*, hal 1456. New York: McGraw-Hill Companies, Inc)

- *Tebal plate settler* = 0,005 m
- *Jarak plate settler* = 0,05 m

- Kemiringan *plate settler* = 60°
(Sumber : L. Huisman *Sedimentation and Flotation*, halaman 80)
- Slope = 1-2%
(Sumber: L. Huisman *Sedimentation and Flotation*, halaman 42)
- Bilangan Reynold (Nre) = < 2000 (Laminer)
- Bilangan Froude (Nfr) = > 10⁻⁵
- Freeboard = 5-30%
(Sumber : Ven Te Chow. 1959. *Open Channel Hydraulics*, hal 159. New York, USA: Mc. Graw-Hill Book company, Inc)
- Faktor kisi porositas (β) = 0,02 – 0,12
- Fakor fraksi hidrolis (α) = 0,03 m
(Reynolds, Tom D. dan Richards c. 2003. *Wastewater Engineering Treatment and Reuse 4th edition*, hal 184)

Rumus Perhitungan

- Luas Permukaan (A)

$$A = \frac{Q}{OFR}$$

- Cek OFR

$$OFR = \frac{Q}{L \times W}$$

- Kecepatan Horizontal (V_h)

$$V_h = \frac{Q}{L \times H}$$

- Diameter partikel

$$Dp = \sqrt{\frac{Vs \times 18 \times v}{g(Ss-1)}}$$

- Bilangan Reynold

$$Nre = \frac{Vh \times R}{\mu}$$

- Bilangan Freud

$$Nfr = \frac{vh^2}{\sqrt{g \times R}}$$

- Cek Kecepatan penggerusan/scouring (V_{sc})

$$v_{sc} = \sqrt{\frac{8 \times \gamma \times g \times (\rho_{sludge} - \rho_{air}) \times Nfr}{\alpha \times \rho_{air}}}$$

- Slope Bak (s)

$$s = 2\% \times L$$

Keterangan :

s = slope bak (m/m)

L = panjang bak (m)

2) Zona Inlet

Rumus

- Luas Permukaan

$$A = W \times L$$

Keterangan :

A = Luas permukaan (m²)

W = Lebar bak (m)

L = Panjang bak (m)

- Volume zona inlet

$$V = Q \times td$$

Keterangan :

V = Volume bak (m³)

Q = Debit air limbah (m³/s)

Td = Waktu detensi (s)

3) Zona Lumpur

Kriteria Perencanaan

- Berat jenis air (ρ_w) = 996,3 kg/m³
- Berat jenis lumpur (ρ_s) = 2650 kg/m³
(Sumber: Reynolds & Richards, 1996)
- Specific solid (Ss) = 1,4
(Sumber: Metcalf & Eddy, 2003)

Rumus

- Parameter yang terendapkan di zona sludge
$$=(TSS\ Influent \times \%removal) + (BOD\ Influent \times \%removal)$$
- Lumpur yang dihasilkan/berat lumpur (W_s)
$$= Q\ Limbah \times Solid\ yang\ mengendap$$
- Berat air (W_w)
$$= \frac{Kadar\ air\ dalam\ lumpur}{Kadar\ padatan\ dalam\ lumpur} \times Berat\ lumpur$$
- Berat jenis lumpur
$$= (Berat\ jenis\ SS \times 10\%) + (Berat\ jenis\ air \times 90\%)$$
- Volume lumpur
$$= \frac{lumpur\ yg\ dihasilkan + bear\ air}{berat\ jenis\ lumpur \times waktu\ pengurasan}$$
- Volume zona sludge
$$V = \frac{1}{3} \times H \times (A1 + A2 + \sqrt{A1 + A2})$$
- Debit pipa pengurangan sludge (Q_p)
$$Q_p = \frac{Volume\ lumpur}{waktu\ pengurasan}$$

4) Zona Outlet

Kriteria Perencanaan

- Kecepatan aliran pipa (v) = 0,3 – 0,6 m/s
- Weir Loading Rate = 125 – 500 m³/m.hari
(Sumber: Metcalf & Eddy, Wastewater Engineering Treatment & Reuse 4th Edition, hal 398)
- Koefisien drag (C_d) = 0,548
- Sudut V Notch = 45
(Sumber: Qasim, dkk., 2000, Water Work Engineering Planning, Design, and Operation)
- Koefisien manning (n) = 0,013
(Sumber: Bambang Triadmodjo, 2008, Hidraulika II, Tabel 4.2 Harga koefisien manning)

Rumus Gutter dan Weir

- Debit unit outlet
 $= Q \text{ limbah} - Q \text{ pengurasan sludge}$
- Panjang total weir (L_w)
$$(L_w) = \frac{Q}{WLR}$$
- Panjang pelimpah (L_p)
$$(L_p) = \frac{L_w}{\text{jumlah pelimpah}}$$
- Debit tiap pelimpah (Q_p)
$$Q_p = \frac{Q}{2}$$
- Luas saluran pelimpah (A)
$$A = \frac{Q_p}{0,5}$$
- Tinggi (H_p) dan Lebar (W_p) pelimpah
$$H_p = \sqrt{2 \times A}$$
$$W_p = 2 \times H_p$$
- Ketinggian air pada Gutter ($H \text{ air}$)
$$H \text{ air} = \left(\frac{Q}{WP \times 1,38} \right)^{\frac{2}{3}}$$
- Tinggi Gutter ($H \text{ Gutter}$)
$$H \text{ gutter} = H \text{ air} + Fb$$
- Luas basah Gutter ($A \text{ basah gutter}$)
$$A \text{ basah gutter} = \text{Lebar gutter} \times H \text{ air}$$
- Slope Gutter (S)
$$S = \left(\frac{Q \times n}{A \text{ gutter} \times (R \text{ gutter})^{\frac{2}{3}}} \right)^2$$
- Headloss pada Gutter
$$H_f = L \text{ weir} \times S \text{ gutter}$$

Rumus V Notch

- Jumlah V Notch
- Debit mengalir tiap V Notch
- Tinggi peluapan melalui V Notch (H_p)

2.2.3 Pengolahan Sekunder

Penguraian senyawa organik pada air limbah sebagian besar menggunakan aktivitas mikroorganisme sehingga disebut dengan proses biologis. Tujuan dari pengolahan biologis pada air limbah adalah sebagai berikut; (1) mengubah (mengoksidasi) konstituen *biodegradable* terlarut dan partikulat menjadi produk akhir yang dapat diterima; (2) menangkap dan menggabungkan padatan koloid tersuspensi dan *nonsettleable* menjadi flok biologis atau biofilm; (3) mengubah atau menghilangkan nutrisi dan unsur biologis yaitu karbon (C), hidrogen (H), oksigen (O), nitrogen (N), dan fosfor (P), dan (5) menghilangkan konstituen dan senyawa kecil organik tertentu (Metcalf & Eddy et al., 2007).

Pengolahan sekunder akan memisahkan koloidal dan komponen organik terlarut dengan proses biologis. Proses pengolahan biologis ini dilakukan secara aerobik maupun anaerobik dengan efisiensi reduksi BOD antara 60 - 90 % serta 40- 90 % TSS (Qasim & Zhu, 2017). Penghilangan partikulat dan BOD karbon terlarut dan stabilisasi materi organik yang ditemukan dalam air limbah dilakukan secara biologis dengan menggunakan berbagai macam mikroorganisme, terutama bakteri. Mikroorganisme digunakan untuk mengoksidasi atau mengubah materi organik terlarut dan partikel karbon menjadi produk akhir yang sederhana dan biomassa sebagai produk sampingan.

Adapun kriteria yang harus diperhatikan dalam memilih unit pengolahan sekunder dengan tepat, diantaranya adalah:

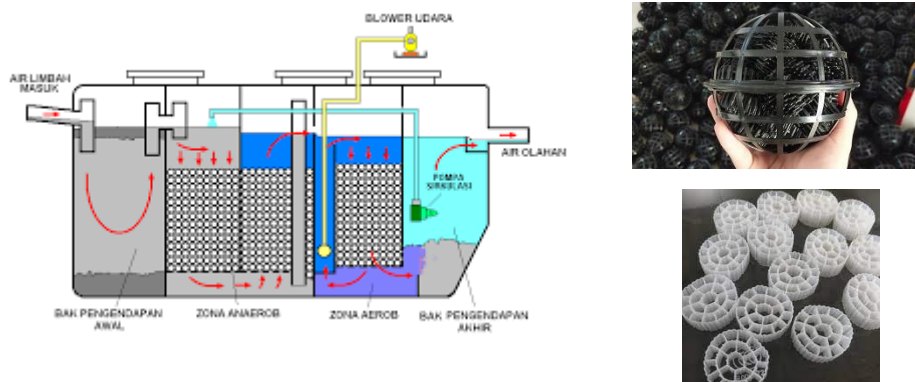
- 1) Efisiensi pengolahan, ditujukan agar unit yang dirancang mampu mengolah air limbah hingga memenuhi standar baku mutu yang telah ditetapkan.
- 2) Aspek teknis, dari segi konstruksi menyangkut teknis pelaksanaan seperti ketersediaan tenaga ahli, kemudahan mendapatkan material konstruksi,

instalasi bangunan, dan ruang yang digunakan. Segi operasi dan pemeliharaan menyangkut kemudahan pengoperasian dan pemeliharaan instalasi air limbah.

- 3) Aspek ekonomis, menyangkut masalah pembiayaan (finansial) dalam hal konstruksi operasi, dan pemeliharaan IPAL.
- 4) Aspek lingkungan, menyangkut kemungkinan terjadinya gangguan yang dirasakan oleh penduduk akibat ketidakseimbangan faktor biologis dan dampak lain seperti bau dan pencemaran suara.

A. Biofilter Anaerob-Aerob

Biofilter anaerobik-aerobik adalah proses pengolahan air limbah dengan menggunakan media penyangga dalam reaktor biologis dan bantuan aerasi (Marsidi & Herlambang, 2002). Proses aerasi diperlukan oleh mikroorganisme aerob dalam media penyangga membutuhkan suplai oksigen atau udara untuk mengurai senyawa organik menjadi CO₂, air, dan amonia. Menurut Casey (2006) dalam Pamungkas (2017), pengolahan air limbah dengan sistem aerobik dan anaerobik menggunakan biofilter memiliki kesamaan konsep dengan *trickling filter*. Secara konsep pengolahan air limbah dengan konsep aerobik membutuhkan keberadaan oksigen untuk mendegradasi bahan-bahan organik, sedangkan pada biofilter anaerobik, dibutuhkan kondisi tanpa udara agar bakteri bekerja maksimal (Pamungkas, 2017).



Gambar 2. 13 Skema kerja dan Media biofilter dalam tangki

(Sumber : <https://ipalbiofive.com>)

Dalam pengolahan aerobik-anaerobik menggunakan aerobik biofilter atau *trickling filter* memanfaatkan teknologi biofilm yang membutuhkan media tumbuh organisme dari materi yang kasar, keras, tajam dan kedap air. Menurut Nusa Idaman Said (2005), Terdapat beberapa hal yang harus diperhatikan dalam menerapkan unit pengolahan aerobik ini, antara lain (Said, 2005) :

1. Jenis media, bahan untuk media aerobik biofilter harus kuat, keras dan tahan tekanan, tahan lama, tidak mudah berubah dan mempunyai luas permukaan per menit volume yang tinggi. Bahan yang biasa digunakan adalah batu kali, kerikil, dan sebagainya.
2. Diameter media. Diameter media aerobik biofilter biasanya antara 2,5-3,0. Sebaiknya dihindari penggunaan media dengan ukuran yang terlalu kecil karena akan memperbesar kemungkinan penyumbatan. Makin luas permukaan media maka makin banyak pula mikroorganisme yang hidup di atasnya.
3. Ketebalan susunan media, ketebalan media aerobik biofilter minimum adalah 1 meter maksimum 3-4 meter. Makin tinggi ketebalan media, maka makin besar pula total luas permukaan yang ditumbuhi mikroorganisme.

4. pH, pertumbuhan mikroorganisme khususnya bakteri dipengaruhi oleh nilai pH. Agar pertumbuhan baik, diusahakan mendekati keadaan netral. Nilai pH antara 4-9,5, dengan pH yang optimum 6,5-7,5 merupakan lingkungan yang nyaman. 5. Suhu/temperatur. Suhu yang baik untuk mikroorganisme adalah 25-37°C. Selain itu suhu juga mempengaruhi suatu kecepatan dari suatu proses biologis.

Adapun kelebihan dan kekurangan dari sistem biofilter aerobik ini antara lain sebagai berikut:

Tabel 2. 7 Kekurangan dan Kelebihan Biofilter

Kelebihan	Kekurangan
Mampu menghilangkan konsentrasi BOD, COD, dan parameter organik lain dengan efektivitas yang tinggi.	Sangat efektif apabila dirancang dengan menggunakan sistem upflow
Mampu menghilangkan/mengurangi konsentrasi padatan tersuspensi (TSS), detergen, amonium, dan fosfor	Membutuhkan waktu picu (<i>Strater time</i>) yang lebih lama
Pengelolaan, maintenance yang mudah dan praktis tanpa memerlukan tenaga ahli	Apabila banyak terdapat padatan limbah yang masuk, maka akan menimbulkan penyumbatan
Biaya operasi unit yang rendah (tingkat aerasi rendah) dan tidak memerlukan lahan yang luas	Tidak tahan terhadap minyak dan lemak (<i>grease</i>)
Dibandingkan dengan unit activated sludge, lumpur yang dihasilkan lebih sedikit	
Dapat menghilangkan nitrogen dan fosfor.	

Sumber (Kaswinarni, 2007)

Media filter seperti kerikil, batu atau plastik memiliki luas permukaan tambahan untuk melekatkan bakteri. Semakin luas permukaan media untuk pertumbuhan bakteri maka semakin cepat proses penguraiannya. Sebuah media filter yang baik memiliki 90- 300 m² luas permukaan setiap m³ volume reaktor. Permukaan yang kasar memiliki luas area yang lebih besar, paling tidak pada fase awal. Lama kelamaan bakteri yang tumbuh akan semakin banyak sehingga luas permukaan media akan berkurang. Berdasarkan penelitian oleh Said (2005), media yang paling efektif untuk biofilter aerob maupun anaerob adalah media sarang tawon. Hal ini dapat dilihat dari perbandingan luas permukaan berbagai media biofilter pada tabel berikut (Said, 2005) :

Tabel 2. 8 Perbandingan Luas Permukaan Spesifik Media Biofilter

NO	Jenis Media	Luas permukaan spesifik (m²/m³)
1.	Tricking filter dengan batu pecah	100 - 200
2.	Modul Honeycomb (sarang tawon)	150 – 240
	Tipe jaring	50
	RBC	80 – 150

Sumber : Nusa Idaman Said, 2017 halaman 292

Menurut Reuter (2009), baik biofilter anaerobik dan aerobik memiliki kriteria desain sebagai berikut (Reuter et al., 2009):

- Beban Permukaan = 20-50 m³ /m² .hari
- HRT di bak pengendap/tangki septik = 2 jam
- HRT di anaerobik Filter = 1,5-2 hari
- Penyisihan BOD = 70-90%
- Rasio SS/BOD = 0,35-0,45
- Luas Spesifik Media = 80-180 m² /m³ Velocity Upflow = < 2 m/jam

Menurut Nusa Idaman Said (2005) kriteria desain lain untuk media biofilter aerob dan anaerob adalah sebagai berikut (Said, 2005):

- Bifolilter Anaerob
 - a) Waktu tinggal (td) = 6 – 8 jam
 - b) Tinggi ruang lumpur = 0,5 m
 - c) Beban BOD/volume media = 0,5 – 4,0 kg BOD /m³ .hari
 - d) Beban BOD/satuan permukaan media (LA) = 5 – 30 g/m² .hari
 - e) Tinggi bed media pembiakan mikroba = 0,9 – 1,5 m
- Media biofilter Anaerob
 - a) Tipe = sarang tawon
 - b) Material = PVC Sheet
 - c) Ketebalan = 0,15 – 0,23mm
 - d) Luas kontak spesifik = 150 – 226m² /m³
 - e) Diameter lubang = 3cm x 3cm
 - f) Berat spesifik = 30 – 35 kg/m³
 - g) Porositas rongga = 0,98
- Biofilter Aerob
 - a) Waktu tinggal (td) = 6 – 8 jam 24
 - b) Tinggi ruang lumpur = 0,5 m
 - c) Beban BOD/volume media = 0,5 – 4 kg BOD /m³ .hari
 - d) Beban BOD/satuan permukaan media (LA) = 5 – 30 g/m² .hari
 - e) Tinggi bed media pembiakan mikroba = 1,2 m
- Media biofilter Aerob
 - a) Tipe = Sarang Tawon
 - b) Material = PVC Sheet
 - c) Ketebalan = 0,15 – 0,23 mm
 - d) Luas Kontak Spesifik = 150 – 226 m² /m³
 - e) Diameter lubang = 3 cm x 3 cm
 - f) Berat Spesifik = 30 – 35 kg/m³
 - g) Porositas Rongga = 0,98
- Blower Udara
 - a) Densitas udara = 1,2kg/m³
 - b) Berat aliran udara (w) = 85-1700 m³ /menit

- c) Tekanan absolut outlet (P2) = 25lb/in² = 1,7 atm
- d) Tekanan absolut inlet (P1) = 14,7 lb/in² = 1 atm
- e) Konstanta Udara = 8,314 kJ/mol.K
- f) K = 1,395 g) N = 0,28
- g) Efisiensi = 70-90%

Sumber: Nusa Idaman Said, 2017 Halaman 304-311

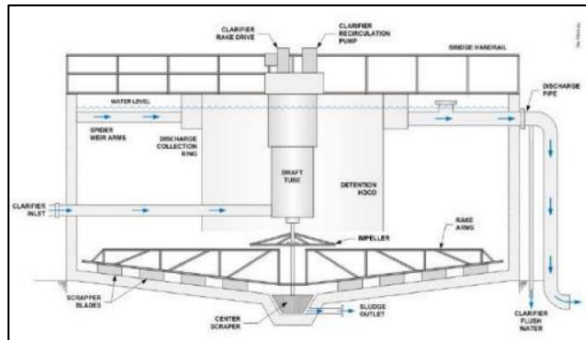
2.2.4 Pengolahan Tersier

Pengolahan ini adalah kelanjutan dari pengolahan terdahulu, oleh karena itu pengolahan jenis ini akan digunakan apabila pada pengolahan pertama dan kedua, banyak zat tertentu yang masih berbahaya bagi masyarakat umum. Pengolahan ketiga ini merupakan pengolahan secara khusus sesuai dengan kandungan zat yang terbanyak dalam air limbah, biasanya dilaksanakan pada pabrik yang menghasilkan air limbah khusus diantaranya yang mengandung fenol, nitrogen, fosfat, bakteri patogen dan lainnya.

A. Bak Sedimentasi II

Bangunan ini digunakan untuk mengendapkan lumpur setelah proses sebelumnya, biasanya pada proses lumpur aktif. Pada unit pengolahan ini, terdapat *scraper blade* yang berjumlah sepasang yang berbentuk *vee* (V). Alat tersebut digunakan untuk pengeruk lumpur yang bergerak, sehingga *sludge* terkumpul pada masing – masing *vee* dan dihilangkan melalui pipa dibawah sepasang *blades*. Lumpur lepas dari pipa dan masuk ke dalam sumur pengumpul lumpur yang terdapat di tengah bagian bawah clarifier. Lumpur dihilangkan dari sumur pengumpul dengan cara gravitasi.

Waktu tinggal berdasarkan rata-rata aliran per hari, biasanya 1-2 jam. Kedalaman clarifier rata-rata 10-15 feet (3 – 4,6 meter). Clarifier yang menghilangkan lumpur biasanya mempunyai kedalaman ruang lumpur (*sludge blanket*) yang kurang dari 2 feet (0,6 meter).



Gambar 2. 14 Skema clarifier

2.2.5 Pengolahan Lumpur (Sludge Treatment)

Pengolahan lumpur merupakan bagian yang tidak terpisahkan dari sistem pengolahan air limbah. Pengolahan lumpur bertujuan untuk mengurangi kandungan air, menjaga stabilitasnya, dan menghilangkan mikroorganisme patogen yang mungkin terdapat di dalamnya. Tujuan ini adalah untuk memastikan bahwa lumpur yang telah diolah aman untuk dibuang atau digunakan dalam batasan tertentu. Melalui proses pengolahan air limbah, lumpur dihasilkan dan memerlukan perlakuan khusus agar tidak mencemari lingkungan dan dapat digunakan kembali untuk keperluan hidup. Sludge dalam penanganan lumpur memiliki kompleksitas masalah yang lebih mendalam. Hal tersebut disebabkan karena (Metcalf dan Eddy, 2004):

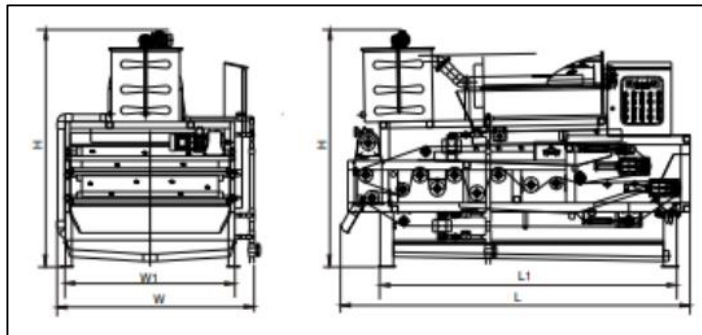
- Sludge sebagian besar dikomposisi dari bahan-bahan yang responsible untuk menimbulkan bau;
- Bagian sludge yang dihasilkan dari pengolahan biologis dikomposisi dari bahan organik;
- Hanya sebagian kecil dari sludge yang mengandung solid (0,25% - 12%)

Tujuan utama dari pengolahan lumpur adalah untuk mereduksi kadar lumpur, dan memanfaatkan lumpur sebagai bahan yang berguna seperti pupuk dan sebagai penguruk lahan yang sudah aman. Adapun untuk pengolahan lumpur diantaranya adalah *Filter Belt Press*.

A. Sludge Collector dan Filter Belt Press

Sebagian besar dari jenis *Filter Belt Press*, lumpur dikondisikan di bagian saluran gravitasi untuk dapat menebalkan lumpur. Pada bagian ini banyak air yang tersisihkan dari lumpur secara gravitasi. Di beberapa unit, bagian ini diberikan dengan bantuan vacuum, yang menambah saluran dan membantu untuk mengurangi bau. Mengikuti saluran gravitasi, tekanan yang digunakan dalam bagian tekanan rendah, dimana lumpur diremas diantara pori kain sabuk. Di beberapa unit, bagian tekanan rendah diikuti bagian tekanan tinggi dimana lumpur mengalami pergeseran melewati penggulung. Peremasan dan penggeseran ini menginduksi dari penambahan air dari lumpur. Akhir dari pengeringan cake lumpur adalah penyisihan dari sabuk dengan *Scraper blade*. Sistem operasi jenis *Filter Belt Press* dari pompa penyedot lumpur, peralatan polimer, tangki lumpur (flokulator), *belt-filter press*, *conveyor cake* lumpur, dan sistem pendukung (compressor, pompa pencuci). Namun, ada beberapa unit yang tidak menggunakan tangki lumpur.

Banyak variable yang mempengaruhi cara kerja dari *belt filter press*, antara lain karakteristik lumpur, metode dan kondisi bahan kimia, tekanan, konfigurasi mein (saluran gravitasi), porositas sabuk, kecepatan sabuk, dan lebar sabuk. *Filter Belt Press* ini sensitive terhadap variasi karakteristik lumpur dan efisiensi mengurangi pengeringan lumpur. Fasilitas memadukan lumpur harus termasuk dalam desain sistem dimana karakteristik lumpur beraneka ragam. Namun, pada kenyataannya operasi yang mahal mengakibatkan beban padat yang lebih besar dan pengering cake ditingkatkan dengan meninggikan konsentrasi padatan lumpur.



Gambar 2. 15 Desain filter belt press

(Sumber : *Google.com*)

Belt-Filter Press mempunyai ukuran lebar belt dari 0,5 – 3,5 m. Ukuran yang umum digunakan untuk lumpur perkotaan adalah 2 m. Beban lumpur dari 90 sampai 680 kg/m.h tergantung pada jenis lumpur dan konsentrasi lumpur yang masuk. Beban hidrolik pada lebar belt antara 1,6 – 6,3 L/m.s. Pertimbangan keamanan desain mencakup ventilasi untuk memindahkan Hidrogen Sulfida atau gas lainnya dan peralatan penjaga untuk mencegah hilangnya baju diantara rol.